

# بررسی آزمایشگاهی تاثیر مواد پلاستیکی غیر قابل بازیافت بر خواص مکانیکی بتن

نعیم عباس زاده<sup>۱\*</sup>، سید طاها طباطبایی عقدا<sup>۲</sup>

- ۱- کارشناسی ارشد مهندسی عمران - سازه، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه میبد، یزد
- ۲- عضو هیات علمی مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی - واحد خلیج فارس، بندرعباس

n.abbaszadeh67@gmail.com

taha.tabaa@gmail.com

## چکیده

مواد پلاستیکی غیر قابل بازیافت موادی می باشند که در طبیعت به صورت طبیعی سالیان بسیاری طول می کشد تا تجزیه شوند این مواد در زندگی روزمره ما مصارف بسیاری از قبیل بطری های نوشابه یا آب معدنی باک بنزین و باک نفت و ظروف یکبار مصرف و ... دارد. حال از این رو با استفاده از این مواد پلاستیکی غیر قابل بازیافت در بتن نه تنها کمک بزرگی به محیط زیست خواهیم کرد از سوی دیگر باعث تولید یک نوع بتن سبک با خاصیت ویژه خواهیم شد. در این مقاله استفاده از این مواد به جای ماسه در بازه های ۵ درصد ۱۰ درصد و ۱۵ درصد استفاده شد، با توجه به آزمایش های صورت گرفته که محور اصلی آن مقاومت بتن و نفوذ آب در بتن های حاوی این مواد نسبت به نمونه شاهد بود، مشاهده شد که این مواد کمک به سزایی به رفتار مکانیکی بتن می کند و استفاده از این مواد به عنوان جایگزین ماسه در بتن مناسب می باشد که از سوی دیگر این امر کمک به سزایی به استفاده از این مواد غیر قابل بازیافت می کند.

کلید واژگان: مواد پلاستیکی غیر قابل بازیافت ، بتن، نفوذ آب ، محیط زیست

## ۱- مقدمه

با توجه به روند رو به رشد جمعیت، استفاده بیش از حد مواد پلاستیکی غیر قابل بازیافت، کاربرد گسترده این مواد در صنایع بسته بندی غذایی و تجزیه بلند مدت این نوع مواد نخاله در طبیعت، محققان سراسر دنیا را ترغیب کرده تا راه های جدیدی برای بازسازی و استفاده مجدد آن پیدا کنند.

چیو<sup>۱</sup> و همکاران، جایگزینی ماسه را با سنگدانه های PET مورد مطالعه قرار دادند که باعث ایجاد ذرات PET و پودر سنگ شده است؛ آنها کاهش در وزن مخصوص بتن و افزایشی در جذب آب مشاهده کردند. همچنین نتایج نشان می دهد که با افزایش نسبت جایگزینی، مقدار جریان کاهش می یابد که بخاطر سطح مدور و لغزنده ذرات PET است که اصطکاک بین ملات و سنگدانه را کاهش می دهد. علاوه بر این، این جابجایی مقاومت فشاری را کم می کند [۱ و ۲].

مارزوک<sup>۲</sup> و همکاران، ذرات نخاله PET را با حداکثر اندازه ۵ میلیمتر بعنوان سنگدانه در بتن بکار گرفتند. نتایج نشان داد که وقتی مقدار سنگدانه PET از صفر درصد به ۵ درصد افزایش یابد، مقاومت نمونه ها کاهش جزئی دارد. اگر مقدار سنگدانه جایگزینی PET بیشتر از ۵۰ درصد شود، خواص مکانیکی نمونه ها افزایش گسترده ای خواهد داشت [۳].

هانوی<sup>۳</sup> و همکاران، پلیکربونات (PC) و مواد PET بازیافته شده را در بتن بکار گرفتند. تحلیل اسکن ذره بینی الکترونی (SEM) در این نوع بتن، چسبندگی ضعیفی در میان سنگدانه ها و بافت نشان داده است. آنها همچنین مدول کشسانی و مقاومت فشاری پایین تری برای ملات هایی که در آنها ذرات PET زیاد شده بود، گزارش کردند. این حقیقت باعث انعطاف پذیری بیشتر نمونه ها شد، بنابراین آنها بارهای بیشتری را می توانند بعد از شکست تحمل کنند بدون اینکه با سقوط همراه شوند. در ادامه این مطالعه نشان داد که جایگزینی درصدی از ماسه با این ذرات پلاستیکی نه تنها باعث بهبود مقاومت خمشی و عامل سفتی شده، بلکه باعث جذب انرژی بیشتر این کمپوزیت ها می شود. این مشخصه برای کاربردهای مهندسی عمران بسیار مورد توجه است، زیرا سازه ها در معرض اثرات باری و دینامیکی قرار دارند [۴].

فوتی<sup>۴</sup>، بتن آرمه را با فیبرهای نخاله بطری PET تحلیل کرد و دریافت که افزودن مقدار اندکی از فیبرهای بازیافت شده از نخاله های بطری PET، می تواند تاثیر عظیمی بر عملکرد بعد از شکست عناصر بتن ساده داشته باشد. همچنین، این فیبرها سفتی نمونه ها را ارتقاء داده و باعث افزایش کشسانی بتن می شوند [۵].

اولیویرا<sup>۵</sup> و همکاران، از فیبرهای حاصل از بازیافت بطری های PET در ملات آرمه استفاده کردند. آنها حجم های مختلفی از فیبر را با کمیت متغیر صفر درصد، ۵ درصد، ۱۰ درصد و ۱۵ درصد به ملات های خشک افزودند. نتایج بدست آمده نشان داد که بکارگیری فیبرهای PET بهبود معناداری بر مقاومت فشاری ملات ایجاد می کند، که علاوه بر تاثیر قابل توجه بر مقاومت خمشی در کنار افزایش سفتی آن است [۶].

ریس<sup>۶</sup> و همکاران، نسبت وزن های مختلفی از ماسه (۵ درصد، ۱۰ درصد، ۱۵ درصد و ۲۰ درصد) با وزن مشابه PET پلاستیک جایگزین کردند و شکست مقاوت این کمپوزیت ها را مورد آنالیز قرار دادند. نتایج نشان می دهد که وزن نمونه هایی که شامل مواد پلیمریکی بوده است، کاهش یافته اند. رفتارهای خمشی آنها بهبود قابل توجهی داشته و جذب انرژی دچار کاهش شده است. علاوه بر این، نتایج نشان می دهد که احتمال حالت شکست ترد نمونه ها از بین رفت. [۷].

<sup>۱</sup> - Chio

<sup>۲</sup> - Marzouk

<sup>۳</sup> - Hannawi

<sup>۴</sup> - Foti

<sup>۵</sup> - Oliveira

<sup>۶</sup> - Reis

## ۲- برنامه آزمایشگاهی

### ۲-۱- مصالح مصرفی

#### ۲-۱-۱- مصالح سنگی

مصالح سنگی، از معادن استان گیلان تامین شده است. مصالح سنگی به کار رفته در این پروژه شامل ماسه (جدول ۱)، شن ریز (جدول ۲) و شن درشت (جدول ۳)، مشخصات مصالح سنگی (جدول ۴) می باشد.

جدول ۱- دانه بندی ماسه

#۱۰۰	#۵۰	#۳۰	#۱۶	#۸	#۴	اینچ ۳/۸	نمره الک	
۰-۱۵	۵-۴۰	۱۵-۵۴	۴۰-۹۰	۶۰-۱۰۰	۸۹-۱۰۰	۱۰۰	حد استاندارد <sup>۷</sup>	درصد
۱	۵	۱۸	۴۵	۷۸	۱۰۰	۱۰۰	نتیجه آزمون	عبوری

جدول ۲- دانه بندی سنگدانه درشت (شن ریز)

#۴	اینچ ۳/۸	اینچ ۱/۲	اینچ ۳/۴	اینچ ۱	نمره الک	
۰-۵	۰-۱۵	۲۰-۵۵	۹۰-۱۰۰	۱۰۰	حد استاندارد <sup>۷</sup>	درصد
۴	۱	۲۳	۹۳	۱۰۰	نتیجه آزمون	عبوری

جدول ۳- دانه بندی سنگدانه درشت (شن درشت)

#۴	اینچ ۳/۸	اینچ ۱/۲	اینچ ۳/۴	اینچ ۱	نمره الک	
۰-۵	۰-۱۵	۱۰-۴۰	۴۰-۸۵	۹۰-۱۰۰	حد استاندارد <sup>۷</sup>	درصد
۰	۰	۱۵	۵۸	۱۰۰	نتیجه آزمون	عبوری

جدول ۴- مشخصات مصالح سنگی

نوع مصالح	ماسه طبیعی	شن ریز	شن درشت
وزن مخصوص (SSD)	۲,۶۴	۲,۵	۲,۶۸
درصد جذب آب	۱,۷	۱	۰,۷
درصد رطوبت	۳,۵	۰,۱۷	۰,۲

## ۲-۱-۲- مواد پلاستیکی غیر قابل بازیافت

این نوع مواد پلاستیکی، مدول ارتجاعی کششی ۲,۹ گیگا پاسکال و مدول ارتجاعی خمشی ۲,۴ گیگا پاسکال دارد. حداکثر مقاومت کششی آن در حدود ۶۰ مگا پاسکال و مقاومت است. این مواد پلیمر نیمه بلورین می باشند که نقطه ذوب ۲۶۰C دارد. در این تحقیق از این ذرات به حداکثر اندازه ۲ میلیمتر استفاده گردید (شکل ۱).



شکل ۱- نمونه ای از مواد پلاستیکی

## ۲-۱-۲-۱- روش بازیافت مواد غیر قابل بازیافت

پلاستیک هابه طور کلی موادی با مقاومت بالا هستند که با اسید، باز و مواد شیمیایی معمول به سختی واکنش می دهند. این مواد کاملاً در برابر میکرو ارگانیزمها مقاوم بوده و در نتیجه زیست تخریب پذیر نیستند. لذا دورریز ضایعات پلاستیکی با فرایندهای عملیاتی مواد جامد و مایعات معمول امکان پذیر نمی باشد. چنانچه مواد پلاستیکی به شیوه های معمول سوزانده شوند، گازهای سمی تولید می کنند. لذا جمع آوری و سیستم جداسازی مناسب ضایعات مواد پلاستیکی و فرآیندهای بازیافت در مورد آنها به کار برده نمی شود. این نوع مواد در زمینه های مختلف چون الیاف، فیلم ها، غشاهای بطری های نوشیدنی، فیلم برای قالب گیری فشاری و صنایع بسته بندی فیلم های رادیوگرافی و نوارهای ویدیویی مورد استفاده قرار می گیرد. یکی از فراوان ترین انواع این نوع ضایعات بطری های نوشیدنی است و بازیافت ضایعات بطری این پلیمر اهمیت زیادی پیدا کرده است. انواع بازیافتهای مکانیکی، فیزیکی و شیمیایی برای بازیافت این نوع مواد مورد استفاده قرار می گیرند.

## ۲-۱-۳- سیمان

سیمان مورد استفاده در ساخت بتن مصرفی این پژوهش، سیمان پورتلند نوع ۲، محصول شرکت سیمان دیلمان و چگالی آن برابر ۳,۱۵ گرم بر سانتی متر مکعب می باشد (جدول ۵)

جدول ۵- مشخصات شیمیایی سیمان مصرفی

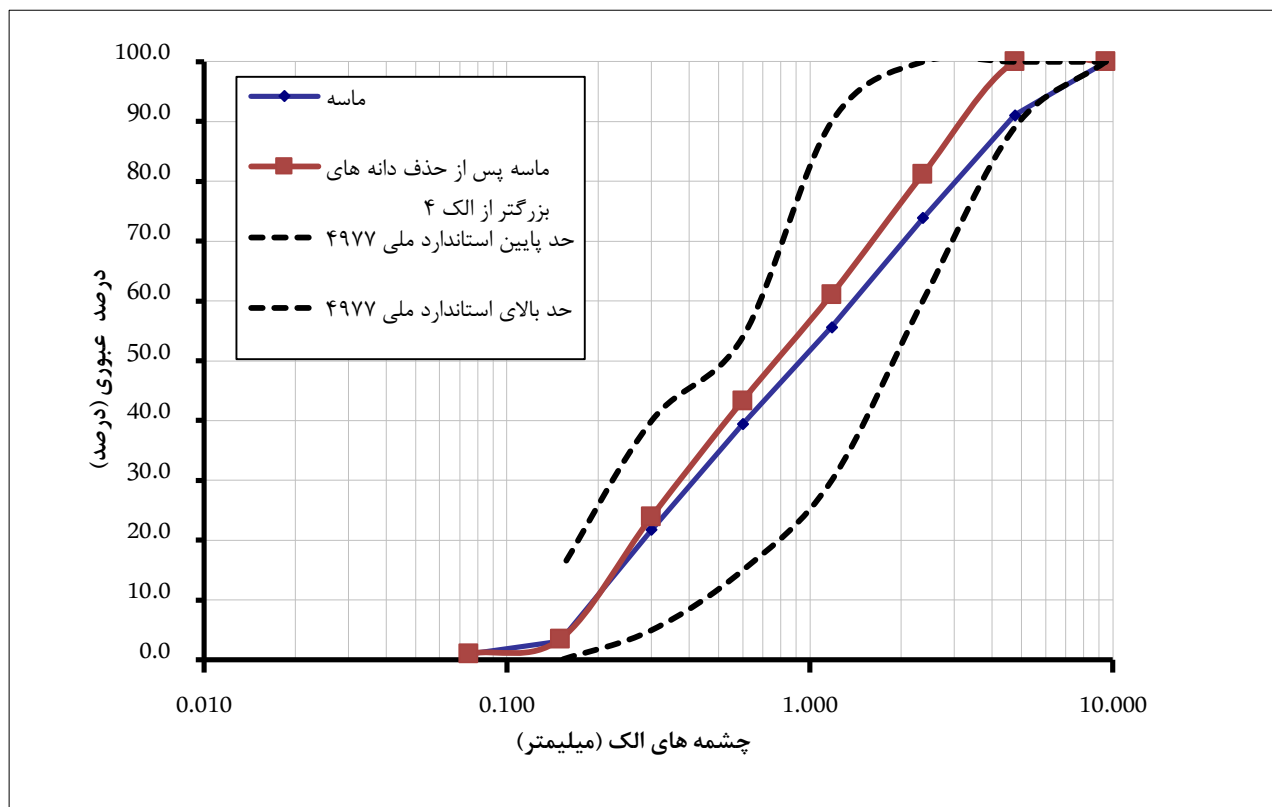
ترکیبات شیمیایی (%)									
C <sub>3</sub> A	C <sub>2</sub> S	C <sub>3</sub> S	Na <sub>2</sub> O + 0.68K <sub>2</sub> O	So <sub>3</sub>	Cao	Mgo	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Sio <sub>2</sub>
۷,۵	۲۱	۵۶	۰,۵۹	۰,۶۵	۶۵	۲,۳	۴	۵/۲	۲۲

## ۲-۲- طرح مخلوط

در این پژوهش، در مجموع چهار طرح مخلوط به شرح جدول ۶ ساخته شد. همانطور که در جدول ۶ مشاهده می شود سه دسته از نمونه ها با نمونه اصلی که حاوی PET نمی باشد مقایسه شد. که در شکل (۲ و ۳) نمودار دانه بندی نشان داده شده است.

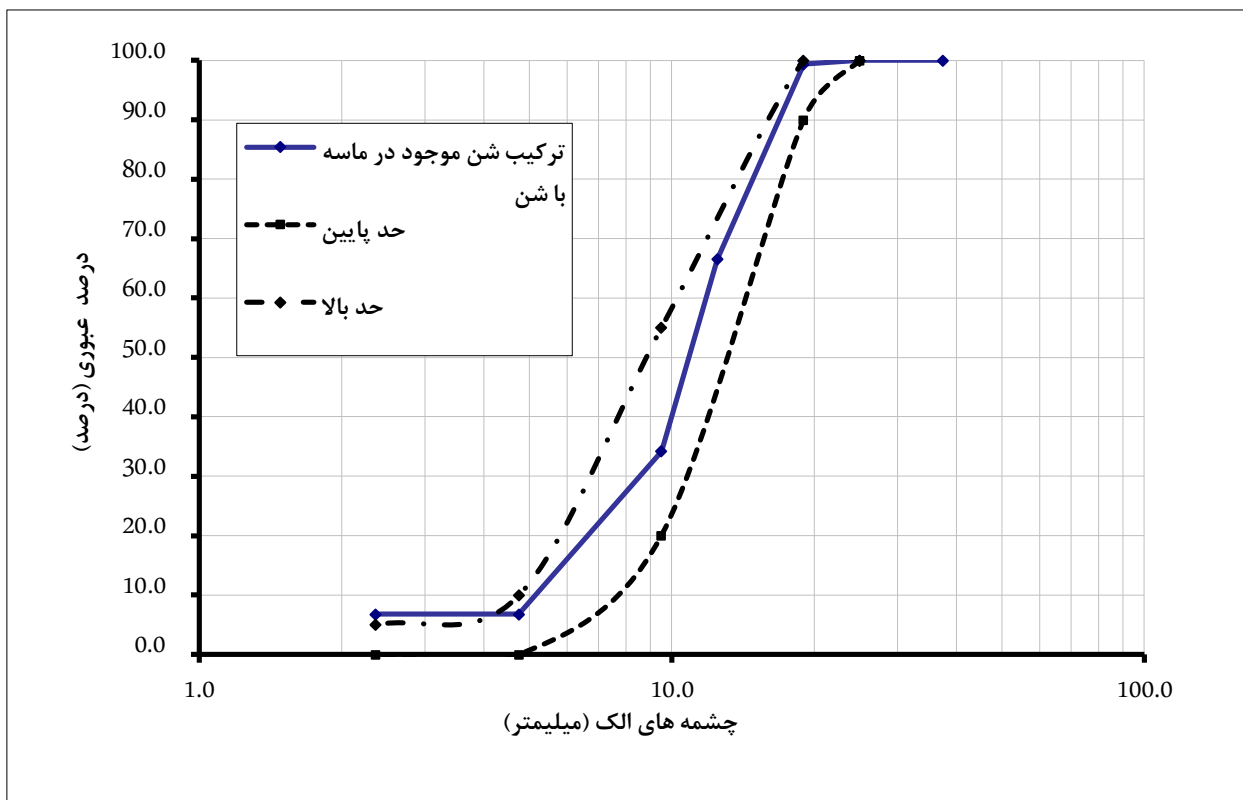
جدول ۶- مشخصات طرح های مخلوط

کد طرح	عیار مواد سیمانی ( $kg/m^3$ )	w/c	مقدار ماسه ( $kg/m^3$ )	مقدار شن ریز ( $kg/m^3$ )	مقدار شن درشت ( $kg/m^3$ )	PET ( $kg/m^3$ )
۱	۴۰۰	۰/۴	۳۶۱/۶	۱۱۲/۲	۸۰/۲	۰
۲	۴۰۰	۰/۴	۳۴۳/۶	۱۱۲/۲	۸۰/۲	۱۸/۱
۳	۴۰۰	۰/۴	۳۲۵/۵	۱۱۲/۲	۸۰/۲	۳۶/۱۶
۴	۴۰۰	۰/۴	۳۰۷/۴	۱۱۲/۲	۸۰/۲	۵۴/۲۵



شکل ۲ - نمودار دانه بندی ماسه<sup>۸</sup>

<sup>۸</sup> - استاندارد ملی ۴۹۷۷



شکل ۳- نمودار دانه بندی شن<sup>۸</sup>

### ۳-۲- تعداد آزمون‌ها

در این پژوهش اثر ۳ مقدار مواد پلاستیکی غیر قابل بازیافت بر روی مقاومت بتن و تاثیر نفوذ آب در بتن، نسبت به نمونه شاهد که حاوی این ذرات نمی باشد مورد بررسی قرار گرفت. که این آزمون ها در سن ۲۸ روزه آزمایش شدند که برای آزمون های مقاومت ۳ عدد نمونه مکعبی ۱۵×۱۵×۱۵ سانتی متر در هر ۳ سن و برای آزمون نفوذپذیری نیز ۳ عدد ۲۰×۲۰×۲۰ سانتی متری در سن ۲۸ روزه و برای آزمون خمش تیر هم ۳ عدد ۶۰×۱۵×۱۵ در سن ۲۸ روزه و در کل ۶۰ عدد نمونه بتنی به عمل آمد که نتایج آن مورد بررسی قرار گرفت (جدول ۷).

جدول ۷- تعداد نمونه ها در سن ۲۸ روز

آزمایش ها			مشخصات آزمون ها
مقاومت خمشی	نفوذ آب	مقاومت فشاری	
۳	۳	۳	نمونه شاهد
۳	۳	۳	نمونه ۵ درصد حاوی ذرات پلاستیکی
۳	۳	۳	نمونه ۱۰ درصد حاوی ذرات پلاستیکی
۳	۳	۳	نمونه ۱۵ درصد حاوی ذرات پلاستیکی
۱۲	۱۲	۱۲	مجموع هر ردیف
۳۶			مجموع کل نمونه ها

## ۴-۲- انجام آزمایش‌ها

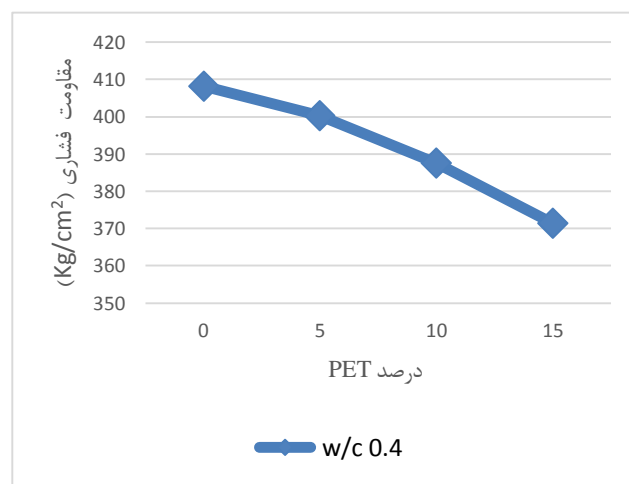
### ۲-۴-۲- بتن تازه

بر روی بتن تازه آزمایش‌های اسلامپ (ASTM C ۱۴۳) بین (۸-۱۰ سانتی متر) و دما (ASTM C ۱۰۶۴) انجام گرفت. با توجه به این که دمای بتن تازه، پارامتر تأثیرگذاری بر مقاومت فشاری و نفوذ آب در بتن می‌باشد [۹]، در محدوده ۲۵ الی ۲۸ درجه سلسیوس نگه داشته شد.

### ۲-۴-۲- بتن سخت شده

#### ۲-۴-۲-۱- مقاومت فشاری (ASTM C ۳۹)

در ساخت سازه‌های بتنی مهمترین معیار مرغوبیت بتن مقاومت فشاری آن می‌باشد. در این پژوهش مقاومت فشاری نمونه‌ها در سن ۲۸ روز نیز اندازه‌گیری شد که نتایج آن در شکل ۴ با توجه به سن بتن ذکر شده است.

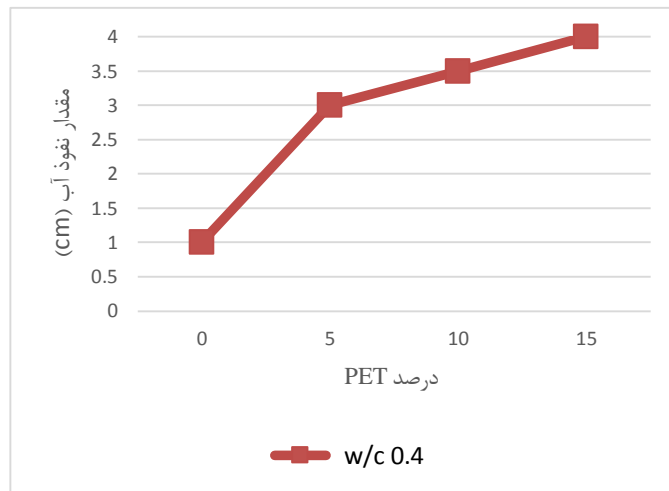


شکل ۴- نمودار مقاومت فشاری نمونه‌های ۲۸ روزه

#### ۲-۴-۲-۲- نفوذ آب (DIN ۱۰۴۸)

در حقیقت این آزمون، برای تعیین میزان مقاومت بتن در مقابل نفوذ آب تحت فشار می‌باشد که به طور معمول در سن ۲۸ و ۳۰ روزگی بتن صورت می‌پذیرد. در این آزمون نمونه‌ها باید از بالا و یا از پایین تحت فشار آب به میزان  $0.5 \text{ N/mm}^2$  برای یک دوره ۳ روزه قرار گیرند بطوریکه فشار در طول آزمایش ثابت باشد. پس از پایان دوره ۳ روزه مورد نظر بلافاصله پس از رها سازی فشار آب نمونه‌ها را از وسط واز وجهی که در معرض فشار آب قرار داشت به ۲ قسمت تقسیم می‌کنیم. پس از ۵ الی ۱۰ دقیقه قسمت خشک نمونه را علامت گذاری کرده و به این ترتیب عمق رطوبت را اندازه گیری می‌کنیم (واحد mm) به این ترتیب با در نظر گرفتن بیشترین عمق تعیین شده حد نفوذ آب در بتن تخمین زده می‌شود. منظور از مقدار عمق نفوذ بیشترین مقدار در بین هر سه نمونه می‌باشد. بعد از آزمون مقاومت فشاری مبحث نفوذ آب در بتن که در شرایط محیطی مختلف تأثیر بسیاری در بتن دارد مورد آزمایش قرار گرفت که در این پژوهش مقدار نفوذ آب نمونه‌ها در سن ۲۸ روز نیز اندازه‌گیری شد که نتایج آن در شکل ۵ با توجه به سن بتن ذکر شده است.

میزان نفوذ بالاتر از حدود پیشنهادی در آیین نامه پیشنهادی پایایی بتن [۱۰] بوده و استفاده از این نوع بتن در ساخت قطعات مسلح در محیط‌های مهاجم را محدود می‌کند.



شکل ۵- نمودار مقدار نفوذ آب نمونه های ۲۸ روزه

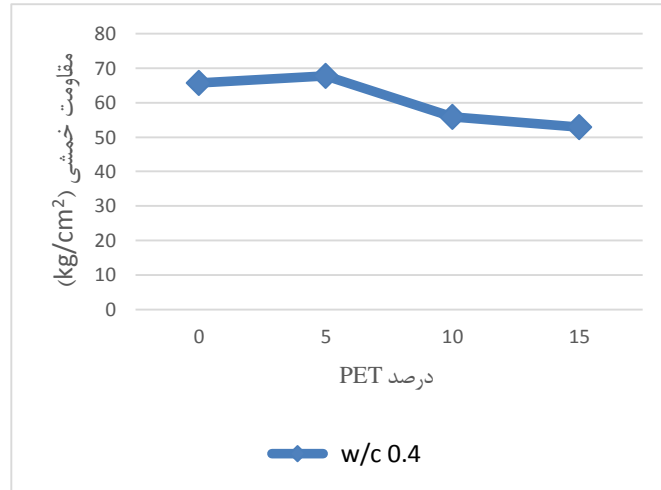
#### ۳-۲-۴-۲- مقاومت خمشی (ASTM C۲۹۳)

یکی از مزیت های استفاده از این مواد پلاستیکی که به دلیل رفتار الاستیک ذرات می باشد بالا بردن مقاومت خمشی تیر می باشد که بدین منظور نمونه هایی به ابعاد  $15 \times 15 \times 60$  سانتی متر در قالب های چوبی به عمل آورده شد که بعد از ۲۸ روز نگهداری در وان آب نمونه ها را با دستگاه مقاومت خمشی که در شکل ۶ نشان داده شده است مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این آزمون در شکل ۷ نشان داده شده است.



شکل ۶- نمونه ای از تیر در حال آزمایش





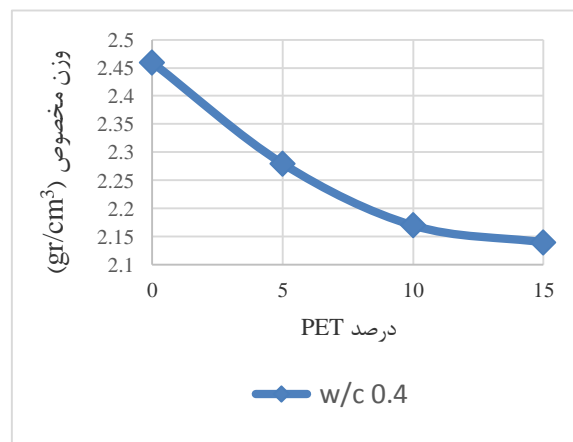
شکل ۷- نمودار مقاومت خمشی نمونه های ۲۸ روزه

### ۳- نتیجه گیری و بحث

در این مطالعه به ارائه نتایج آزمایش های انجام شده بر روی نمونه های ساخته شده پرداخته می شود. با توجه به اینکه نمونه های ساخته شده در دو بخش مکعبی و تیر قرار دارند، در اینجا نیز نتایج مورد بررسی قرار می گیرند. نتایج حاصله از آزمون های مختلف بر نمونه های مختلف بتن در سنین مختلف نسبت به نمونه شاهد بدست آمده و پس از بررسی های لازم و تطبیق آنها با آیین نامه های داخلی و خارجی در موارد زیر ارائه گردید:

۱- بتن حاوی ذرات ۵ درصد مواد پلاستیکی به صورت جزئی طور چشم گیری مقاومت بالاتری خوبی از خود نشان دادند ولی با افزایش مقدار PET با کاهش مقاومت بتن روبه رو مواجه خواهیم شد که این امر احتمالا به علت کاهش پیوستگی بین ذرات با دیگر مواد می باشد.

۲- ذرات بطری های پلاستیکی کمک به سزایی به کاهش وزن بتن کرده و در نتیجه می تواند باعث بهبود عملکرد لرزه ای سازه شود.



شکل ۸- نمودار نمودار وزن مخصوص نمونه های ۲۸ روزه

۳- نمونه های حاوی ذرات مواد پلاستیکی وزن مخصوص، مقاومت کششی و مدول کشسانی کمتری داشتند. در حقیقت، به کارگیری ذرات مواد پلاستیکی ناکارایی هایی را در ساختار درونی بتن به وجود می آورد که منجر به کاهش مقاومت فشاری خواهد شد.

۴- نتایج آزمایش نفوذ آب تحت فشار نشان می دهد که احتمالاً به دلیل عدم تجانس مناسب بین ذرات مواد پلاستیکی و بتن، فرایند نفوذ آب در بتن تسهیل شده و باعث افزایش نفوذ آب در بتن می شود. میزان نفوذ بالاتر از حدود پیشنهادی در آیین نامه پیشنهادی پایایی بتن [۱۰] بوده و استفاده از این نوع بتن در ساخت قطعات مسلح در محیط های مهاجم را محدود می کند.

۵- امروزه با افزایش جمعیت و افزایش پسماندهای پلاستیکی آسیب بزرگی به محیط زیست وارد شده است. با استفاده از این ذرات به عنوان سنگدانه در بتن می توان حجم این زباله ها را کاهش داد. با جایگزینی این ذرات به جای ماسه در بتن کاهش وزن قابل توجهی ایجاد می شود و همچنین می توان رفتار قابل قبولی را از بتن انتظار داشت.

۶- استفاده از این مواد به دلیل رفتار الایسک در تیر های بتنی کمک به سزایی به رفتار خمشی تیر می کند که این امر باعث بهتر شدن رفتار تیر بدون مسلح کردن آن می باشد.

#### ۴- مراجع و منابع

[1] Choi YW, Moon DJ, Kim YJ, Lachemi M. Characteristics of mortar and concrete containing fine aggregate manufactured from recycled waste polyethyleneterephthalate bottles. *Constr Build Mater* 2009;23(8):2829–35.

[2] Choi YW, Moon DJ, Seung CJ, Cho SK. Effects of waste PET bottles aggregate on the properties of concrete. *Cem Concr Res* 2005;35(4):776–81.

[3] Marzouk OY, Dheilily RM, Queneudec M. Valorization of post-consumer waste plastic incementations concrete composites. *Waste Manage* 2007;27(2):310–8.

[۴] Hannawi K, Kamali-Bernard S, Prince W. Physical and mechanical properties of mortars containing PET and PC waste aggregates. *Waste Manage* 2010;30(11):2312–20.

[۵] Foti D. Preliminary analysis of concrete reinforced with waste bottles PET fibers 2011;25(4):1906–15.

[۶] Pereira de Oliveira LA, Castro-Gomes JP. Physical and mechanical behavior of recycled PET fiber reinforced mortar. *Constr Build Mater* 2011;25(4):1712–7.

[۷] Reis JML, Chianelli-Junior R, Cardoso JL, Marinho FJV. Effect of recycled PET in the fracture mechanics of polymer mortar. *Constr Build Mater* 2011;25(6):2799–804.

[۸] P. Nel Quiroga and D.W. Fowler, “The Effects of Aggregates Characteristics on the Performance of Portland Cement Concrete”, Report No. ICAR 104-1F, International Center for Aggregates Research, Austin, TX, 2004.

[۹] S. Mindess, J.F. Young and D. Darwin, “Concrete”, 2nd Edition, Pearson Education, Inc., Upper Saddle River, NJ, 2003.

[۱۰] رضانیانپور، ع.ا.، پورخورشیدی، ع.، "آیین نامه ملی پایایی"، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، نشریه شماره ۴۲۸، تهران، ۱۳۸۴.